

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)
УДК 622.281.742
DOI: 10.18503/1995-2732-2022-20-3-45-53



ОЦЕНКА РИСКОВ КРЕПЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВЫРАБОТОК ФРИКЦИОННОЙ АНКЕРНОЙ КРЕПЬЮ

Зубков А.А.¹, Калмыков В.Н.², Кульсайтов Р.В.², Кутлубаев И.М.², Неугомонов С.С.¹,
Туркин И.С.¹

¹ ООО «УралЭнергоРесурс», Магнитогорск, Россия

² Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия

Аннотация. Актуальность работы. Современной тенденцией крепления горных выработок является использование анкеров с фрикционным способом закрепления. Для недропользователей России это относительно новая технология, успешно развивающаяся с 2008 года ООО «УралЭнергоРесурс». Возрастающее число производителей такого типа анкеров определило необходимость отразить риски, сопряженные с их конструктивными особенностями. На основе анализа факторов, действующих на детали анкера, определены требования к основным характеристикам.

Постановка задачи. На этапе выбора марки стали для стержня анкера основными параметрами являются предел текучести σ_T и коэффициент относительного удлинения δ . Требование к параметру δ непосредственно следуют из особенности его закрепления. Наиболее предпочтительны значения, обеспечивающие приближение предела текучести σ_T к временному сопротивлению σ_B . Исходя из экономической целесообразности, значение коэффициента относительного удлинения материала стержня должно быть менее 25%. **Новизна.** Нагрузки с закрепляемой поверхности выработки воспринимаются стержнем анкера через упор, выполняемый на его концевой части. В настоящее время упором служит кольцо, привариваемое к стержню анкера. При этом в зоне сварного шва прочностные характеристики стержня резко снижаются вследствие структурных изменений металла. Качественное повышение нагрузочной способности упора достигается за счет формирования его непосредственно из материала стержня. **Результат.** Использование нового способа формирования упора обеспечивает увеличение нагрузочной способности до значений, сопоставимых с нагрузочной способностью стержня анкера. Для обеспечения сохранения несущей способности в течение длительного периода в условиях постоянного воздействия агрессивной шахтной среды следует использовать полимерные защитные покрытия. **Практическая значимость.** Выполнение совокупности решений – критерий выбора марки стали для стержня, формирование упора из материала стержня, нанесение защитных полимерных покрытий – обеспечивают снижение риска потери функциональных свойств анкерной крепи с фрикционным способом закрепления.

Ключевые слова: анкерная крепь, стержень анкера, упор, коррозионная стойкость, профиль стержня

© Зубков А.А., Калмыков В.Н., Кульсайтов Р.В., Кутлубаев И.М., Неугомонов С.С., Туркин И.С., 2022

Для цитирования

Оценка рисков крепления поверхностей выработок фрикционной анкерной крепью / Зубков А.А., Калмыков В.Н., Кульсайтов Р.В., Кутлубаев И.М., Неугомонов С.С., Туркин И.С. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2022. Т. 20. №3. С. 45-53. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2022-20-3-45-53>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

RISK ASSESSMENT OF SUPPORTING SURFACES OF WORKINGS WITH FRICTION ROOF BOLTING

Zubkov A.A.¹, Kalmykov V.N.², Kulsaitov R.V.², Kutlubaev I.M.², Neugomonov S.S.¹, Turkin I.S.¹

¹ UralEnergoResurs LLC, Magnitogorsk, Russia

² Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

Abstract. Relevance. The modern trend for supporting mine workings is the use of anchors with a frictional method of fastening. As for operators of subsurface resources in Russia, this is a relatively new technology that has been successfully developed since 2008 by UralEnergoResurs LLC. An increasing number of manufacturers of such type of anchors have determined the need for describing the risks associated with their design features. Having analyzed the factors influencing the anchor parts, the authors determined requirements for main characteristics. **Problem Statement.** At the stage of choosing the steel grade for bolt shafts, the main parameters are yield strength σ_T and coefficient of relative elongation δ . The requirement for parameter δ follows directly from a special feature of its installation. The most preferable values provide the approximation of yield strength σ_T to ultimate tensile strength σ_B . Based on economic feasibility, the value of the coefficient of relative elongation of the shaft material should be less than 25%. **Originality.** Loads from the reinforced surface of the working are perceived by the bolt shaft through the fixed stop on its end part. Currently, the stop is a ring welded to the bolt shaft. At the same time, strength characteristics of the shaft sharply decrease in the weld zone due to structural changes in steel. A qualitative increase in the load capacity of the stop is achieved by forming it directly from the material of the shaft. **Result.** The use of a new method of forming the stop provides an increase in the load capacity to values comparable to the load capacity of the bolt shaft. To maintain the bearing capacity for a long period in constant exposure to aggressive mine environment, polymer protective coatings should be used. **Practical Relevance.** A set of implemented solutions, such as meeting the criterion for choosing a steel grade for the shaft, shaping a stop from the material of the shaft, and applying polymer protective coatings, reduces the risk of losing functional properties of the friction roof bolting.

Keywords: roof bolting, bolt shaft, stop, corrosion resistance, shaft profile

For citation

Zubkov A.A., Kalmykov V.N., Kulsaitov R.V., Kutlubaev I.M., Neugomonov S.S., Turkin I.S. Risk Assessment of Supporting Surfaces of Workings with Friction Roof Bolting. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2022, vol. 20, no. 3, pp. 45-53. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2022-20-3-45-53>

Введение

Обеспечение устойчивости пород в горной выработке определяется горно-геологическими условиями и видом принятой крепи [1, 2]. Надежность системы «горный массив – крепь» зависит от конструктивных особенностей и параметров крепи, определяющих её несущую способность.

На практике для крепления поверхности выработок используется комбинированный способ на основе анкеров, подхватов (затяжек) и набрызгбетона. При этом эксплуатационные свойства крепи зависят в первую очередь от технических характеристик анкера.

Основные конструктивные особенности и требования к анкерным крепям установлены в ГОСТ 31559 – 2012. В 2016 году специалистами ООО «УралЭнергоРесурс» были разработаны «Изменения № 1», определившие требования к анкерам с фрикционным закреплением. С этого

момента анкеры данного типа получили официальный статус на территории РФ. В частности, были регламентированы численные требования к его несущей способности – не менее 50 кН.

Следует отметить, что в настоящее время ряд недропользователей в паспортах крепления закладывают большие значения – до 100 кН [3]. Для обеспечения требуемого значения следует определить и задавать параметры, характеризующие составляющие детали анкера. Их соблюдение на стадии изготовления позволит снизить риски аварийного выхода всей крепи при её эксплуатации.

Принцип работы анкера с фрикционным закреплением заключается в создании на поверхности контакта его цилиндрической поверхности и стенки шпуря распределенного давления. В анкерах типа Split Set такое давление обеспечивается за счет упругой деформации трубчатого цилиндрического стержня с продольным пазом по всей длине и внешним диаметром, превыша-

ющим диаметр шпура. Непосредственное взаимодействие с закрепляемой поверхностью осуществляется через опорную плиту, положение которой на стержне анкера фиксируется через упор, выполненный на его концевой части [4].

Риски, возникающие на этапе заявления характеристик фрикционного анкера. Выбор механических характеристик стержня анкера

Надежное функционирование анкерной крепи с фрикционным способом закрепления определяется соответствием нагрузочных характеристик каждого из его элементов заданной несущей способности и их сохранением в течение всего гарантийного срока.

Параметрами, определяющими эксплуатационные возможности анкерной крепи с фрикционным закреплением, являются толщина стенки, антикоррозионная защита, нагрузочная способность упора для опорной плиты.

Толщина стенки определяется исходя из прочностных характеристик металла стержня анкера и заданной несущей способности. При ее

выборе следует выполнять оценку одновременно по показателям временного сопротивления σ_B и пределу текучести σ_T . При этом параметр σ_T является превалирующим. Его значения могут быть низкими даже при высоких значениях σ_B , что характерно при высокой величине относительного удлинения. Развитие пластической деформации ведет к снижению нормального давления на стенки шпура и далее силы трения на поверхности контакта, что определяет снижение несущей способности крепи.

Снижение рисков, обусловленных выбором материала для изготовления стержня анкера, достигается использованием марок, обладающих пониженным коэффициентом относительного удлинения. При этом значения σ_T приближаются к параметру σ_B . Этим объясняется назначение фирмой Kinross Gold Corporation технических характеристик материалов, используемых для крепления горных выработок на территории РФ (табл. 1, 2).

Таблица 1. Технические характеристики фрикционных анкерных болтов диаметром 39 и 46 мм (DSI, 2008)
Table 1. Specifications for 39 and 46 mm friction rock bolts (DSI, 2008)

Технические характеристики	Диаметр болтов		
	33 мм	39 мм	46 мм
Типовой предел сопротивления разрыву, кН (метрических тонн)	107 (10,9)	110 (11,2)	178 (18,14)
Минимальный предел сопротивления разрыву, кН (метрических тонн)	71 (7,24)	89 (9,07)	133 (13,61)
Рекомендуемое исходное тяговое усилие, кН (метрических тонн)	От 27 до 53 (от 2,72 до 5,44)	44,2 (4,5)	От 53 до 89 (от 5,44 до 9,07)
Предельная осевая деформация	Типовая 16%		

Таблица 2. Технические характеристики фрикционных анкерных болтов диаметром 47 мм (Fero Strata, 2012)
Table 2. Specifications for 47 mm friction rock bolts (Fero Strata, 2012)

Технические характеристики	Минимальные	Типовые
Предел текучести, МПа	350	450
Усилие текучести, метрических тонн	12,3	15,98
Предельная прочность на разрыв, МПа	460	520
Предельное усилие растяжения, метрических тонн	16,1	18,2
Относительное удлинение при разрыве образца 80 мм, %	20	—

Тенденция к уменьшению толщины стенки стержня определяет необходимость использования сталей с более высоким пределом текучести. При толщине стенки стержня 2,3-2,5 мм предпочтительно использовать стали с σ_t более 400 МПа. Последующее снижение толщины стенки, используемое некоторыми производителями, должно сопровождаться пропорциональным увеличением предела текучести. В противном случае риски разрыва стержня возрастают.

Решения при выборе конструктивных элементов анкера

Несущая способность фрикционного анкера определяется нагрузочной способностью самого слабого его элемента – упора для опорной плиты. В конструкциях с приварным кольцом, за счет совершенствования режимов сварки, обеспечена нагрузочная способность до 92-98 кН. Специальный комбинированный вариант выполнения упора, часть которого формируется при установке из материала анкера, обеспечивает повышение нагрузочной способности до 120-125 кН [5, 6]. Вместе с тем эти значения меньше допускаемых нагрузок на стержень анкера (табл. 3). Дальнейшее повышение нагрузочной способности упора и снижение рисков потери целостности анкера обеспечивается за счет перехода к варианту со штампованным упором из материала стержня (рис. 1) [7].

Таблица 3. Нагрузочная способность штампованного варианта опорного узла на стержне диаметром 48 мм и толщиной стенки 3 мм
Table 3. Load capacity of the stamped option of the support unit on a shaft with a diameter of 48 mm and a wall thickness of 3 mm

Опорный узел	Номер образца	Максимальная нагрузка	
		Н	т
Штампованый	1	125813,0	12,8
	2	130566,0	13,3
	3	127163,0	13,0
	4	128419,0	13,1
	5	131597,0	13,4
	6	131991,0	13,5
	7	137850,0	14,1
	8	123319,0	12,6
	9	137719,0	14,1



Рис. 1. Образцы штампованных вариантов упора до испытаний
Fig. 1. Samples of stamped options of the stop before testing

Исследования нагрузочной способности упора были выполнены на оборудовании в лаборатории механических испытаний ФГБОУ «МГТУ им. Г.И. Носова» на комплексе AG-IS/1/IC/EZ Graph. Результаты испытаний представлены в табл. 3.

Полученные значения превышают аналогичные значения для варианта с приварным кольцом на 28-35% и на 10-13% – со специальным вариантом. Соответственно, снижаются и риски разрушения упора. В дополнение следует отметить, что в отличие от вариантов с приварным упором происходит не разрыв металла по месту сварки, а его деформация. При этом величина смещения опорного узла при этом составляет 8-10 мм [8].

Выбор технологических решений, обеспечивающих коррозионную защиту анкера

Обязательным условием длительного и безопасного использования анкерной крепи фрикционного типа в соответствии с ГОСТ 31559-2012 является наличие на её поверхности надежной антикоррозионной защиты. Требования к типу и технологии нанесения защитных покрытий определяются условиями эксплуатации крепей и нормируются СП 28.13330.2017, ГОСТ 15150-69, 9.104-79, 9.410-88, 9.401-91, 9.402-2004, 9.602-2016.

Особенность конструкции анкера фрикционного типа определяет преимущественное развитие коррозии по внутренней поверхности стержня. Ее интенсивность зависит от качества нанесения защитного покрытия и его сохранности после установки анкера в шпур. Риски, обусловленные коррозией, следует оценивать по показателям толщины и сплошности покрытия в исходном состоянии, с сохранением их после установки. Первый показатель определяется технологией и материалом наносимого покрытия. В настоящее время достаточно широко используется технология электростатического напыления. В связи с этим были выполнены исследования зависимости толщины и сплошности покрытия для возможных вариантов выполнения стержня анкера.

Покрытия наносились на стержни с С- и W-профилем поперечного сечения стержня. С-профиль был взят из серийно выпускаемой партии ООО «УралЭнергоРесурс».

На поверхности стержней анкера, предварительно обезжиренных и очищенных от пыли и ржавчины, наносили покрытие методом электростатического напыления ручными установками GEMA (Швейцария). Установка позволяет получать покрытие толщиной 80-300 мкм.

На стержень самозакрепляющегося анкера

(С3А) с С-образным профилем и пазом шириной 21-23 мм обеспечивалось нанесение равномерного эпокси-полиэфирного покрытия по всей внутренней и внешней поверхности толщиной от 33 до 120 мкм (рис. 2, табл. 4).

Для испытания возможности нанесения покрытия на W-профиль были специально изготовлены образцы в соответствии с параметрами, отраженными в публикации производителя (рис. 3) [9]. В стержне с W-профилем ширина паза составляла 5 мм (рис. 4). Результаты испытаний представлены в табл. 5.

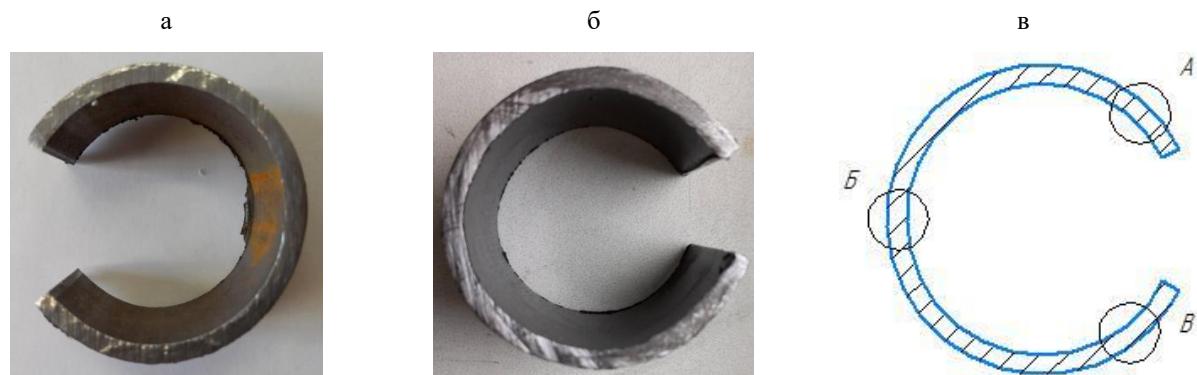


Рис. 2. Фрагмент стержня анкера с С-профилем: а – до нанесения покрытия; б – после нанесения; в – положение точек замера толщины покрытия

Fig. 2. Fragment of the C-shaped bolt shaft: a is before coating; b is after coating; v is coating thickness measurement points

Таблица 4. Результаты нанесения эпокси-полиэфирного покрытия на С-образный профиль
Table 4. Results of applying an epoxy-polyester coating on the C-shaped profile

Диаметр анкера и толщина стенки	Вид покрытия	Толщина покрытия в зонах, мкм					
		Внешнее			Внутреннее		
		A	Б	В	A	Б	В
C3A $d = 48$ мм, $s = 3$ мм	Эпокси-полиэфирное	115	120	119	33	102	44



Рис. 3. Образцы анкера с W-формой поперечного сечения
Fig. 3. Samples of rock bolts with the W-shaped cross-section



Рис. 4. Фрагмент стержня анкера с W-профилем: а – до нанесения покрытия; б – после нанесения; в – положение точек замера толщины

Fig 4. Fragment of the W-shaped bolt shaft: a is before coating; b is after coating; v is coating thickness measurement points

Таблица 5. Результаты нанесения эпокси-полиэфирного покрытия на W-образный профиль
Table 5. Results of applying an epoxy-polyester coating on the W-shaped profile

Диаметр анкера и толщина стенки	Вид покрытия	Толщина покрытия в зонах, мкм					
		Внешнее			Внутреннее		
		A	Б	В	A	Б	В
С3А $d = 48$ мм, $s = 3$ мм	Эпокси-полиэфирное	83	199	85	4	12	3

Наименьшая толщина покрытия в 3 мкм была зарегистрирована на внутренней поверхности в зонах А и В (рис. 4, в).

Полученный результат объясняется двумя факторами:

- форма профиля создает «теневые» зоны (зоны А и В);
- проявление «эффекта клетки Фарадея».

Нанесение сплошного покрытия на стержни анкера независимо от формы поперечного сечения возможно при использовании более современных технологий, основанных на использовании полимерных покрытий.

В горных выработках основным видом являются электрохимическое и биологическое коррозионное воздействие грунтов в условиях длительного контакта с минерализованными водами различной кислотности. В этих условиях эффективным способом защиты является нанесение толстослойного (более 0,3 мм) покрытия из полимерного материала. Такое покрытие обладает комплексом защитных свойств: химически стойким, гидроизолирующим, электроизоляционным, эластичным в сравнении с лакокрасочным покрытием.

Для защиты поверхностей анкерных крепей полимерные покрытия до недавнего времени не

применялись из-за отсутствия российских производителей полиолефиновых композиций с высокой адгезией к стали. В настоящее время ряд предприятий освоил производство специальных адгезивных добавок – компатибилизаторов («совместителей»). Это позволило реализовать технологию нанесения полиэтилена высокой плотности с хорошей адгезией к стали (более 150 Н/см). Специальная композиция, адаптированная к маркам стали стержня, разработана в ООО «УралЭнергоРесурс».

При проведении исследований механических свойств композиции определялась прочность при растяжении, относительное удлинение при разрыве, стойкость к коррозии в водных средах с повышенной кислотностью ($\text{pH} = 1$), щелочностью ($\text{pH} = 13$) и суммарным содержанием хлоридов и сульфатов 100 г/л. После выдержки в указанных растворах в течение 7 дней образцы стренг исследовали на прочность и удлинение при разрыве. Полученные результаты представлены в табл. 6.

Нанесение покрытий на стержни выполнялось на специальной технологической линии, запущенной в 2019 году. Реализованная в ней технология обеспечивает получение равномерных полимерных покрытий толщиной 400-500 мкм

(рис. 5, табл. 7), в том числе и на стержнях со штампованным упором (рис. 6).

Для оценки воздействия атмосферы на покрытие были выполнены испытания стержней анкеров. Партития из десяти анкеров была помещена на годичное хранение на «открытом воздухе» с амплитудой температур от -30 до +25°C. При внешнем осмотре поверхности проявления коррозии не зафиксировано. При этом сохранились и адгезионные свойства в пределах 138-144 Н/см. Это позволяет говорить об обеспечении сохранности внутренней поверхности стержня анкера, подверженной наибольшему воздействию шахтной атмосферы.

Сохранность покрытия на внешней поверхности выполнялась только по косвенным показателям на закрепленных участках, где имело место частичное обнажение стержня.

Таблица 6. Прочностные свойства полиэтиленовой композиции

Table 6. Strength properties of the polyethylene composition

Показатель	Условия и результат испытаний			
	До обработки	pH = 1	pH = 13	Раствор солей
Прочность при растяжении, МПа	13,2	12,8	13,0	13,0
Относительное удлинение при разрыве, %	540	532	537	538

a



б

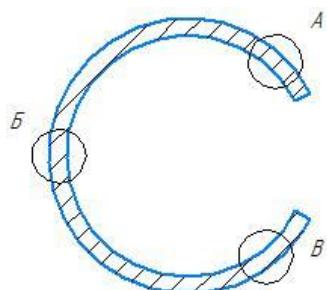


Рис. 5. Фрагмент стержня анкера с C-профилем: а – после нанесения покрытия; б – положение точек замера толщины покрытия

Fig. 5. Fragment of the C-shaped bolt shaft: a is after coating; b is coating thickness measurement points

Таблица 7. Результаты нанесения полимерного покрытия на C-образный профиль

Table 7. Results of applying a polymer coating on the C-shaped profile

Диаметр анкера и толщина стенки	Вид покрытия	Толщина покрытия в точках, мкм					
		Внешнее			Внутреннее		
		A	Б	В	A	Б	В
C3A $d = 48$ мм, $s = 3$ мм	Полимер низкого давления	470	500	550	500	528	520
C3A $d = 46$ мм, $s = 2,5$ мм	Полимер низкого давления	500	510	520	500	530	505



Рис. 6. Образцы стержней анкера с покрытием из полимера низкого давления

Fig. 6. Samples of rock bolts coated with low pressure polymer

Заключение

По результатам работы были сформулированы следующие выводы:

1. Снижение рисков выхода из строя анкеров с фрикционным закреплением достигается за счет выбора материала стержня с более высоким пределом текучести и относительным удлинением менее 25%.

2. Основным фактором, обеспечивающим несущую способность фрикционного анкера, является нагружочная способность упора, выполняемого на стержне и взаимодействующего с опорной плитой. Наиболее предпочтительно упор выполнять штамповкой из материала стержня.

3. Для защиты поверхности деталей анкера от коррозии следует формировать полимерное покрытие толщиной от 300 до 500 мм.

Список источников

1. Еременко В.А., Разумов Е.А., Заятдинов Д.Ф. Современные технологии анкерного крепления // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. № 12. С. 38-45.
2. Лушников В.Н. и др. Крепление горных выработок в условиях деформируемых и удароопасных массивов горных пород // Горный журнал. 2014. № 4. С. 37-44.
3. Совершенствование конструкции и технологии установки крепей с фрикционным закреплением / А.А. Зубков, А.В. Зубков, И.М. Кутлубаев, В.В. Латкин // Горный журнал. 2016. № 5. С. 48-52.
4. Зубков А.А. и др. Обоснование характеристик анкерных крепей фрикционного типа // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2019. № 10. С. 35-43.
5. Пат. 95029 РФ. Анкерная крепь / А.А. Зубков, А.Е. Зубков; заявл. 25.06.2009; опубл. 10.06.2010. Бюл. № 16.
6. Зубков А.А. и др. Оценка влияния конструктивных параметров фрикционного анкера на его несущую способность // Комбинированная геотехнология: переход к новому технологическому укладу: матер. X Междунар. науч.-практ. конф. / под ред. В.Н. Калмыкова, М.В. Рыльниковой. Магнитогорск, 2019. С. 99.
7. Пат. 201514 РФ. Фрикционный анкер / А.А. Зубков, И.М. Кутлубаев; заявл. 21.07.2020; опубл. 18.12.2020. Бюл. № 35.
8. Совершенствование конструкции и технологии установки крепей с фрикционным закреплением / А.А. Зубков, П.В. Волков, И.М. Кутлубаев, С.С. Неугомонов // Горный журнал. 2022. № 1. С. 92-96.
9. ООО «ОКС-ТРЕЙД»: Фрикционный анкер нового поколения // Горная промышленность. № 6. 2017. С. 54.

References

1. Eremenko V.A., Razumov E.A., Zayatdinov D.F. Modern bolting technologies. *Gornyi informatsionno-analiticheskiy byulleten* [Mining Information and Analytical Bulletin], 2012, no. 12, pp. 38-45. (In Russ.)
2. Lushnikov V.N. et al. Supporting of mine workings in conditions of deformable and bump hazardous rock massifs. *Gornyi zhurnal* [Mining Journal], 2014, no. 4, pp. 37-44. (In Russ.)
3. Zubkov A.A., Zubkov A.V., Kutlubaev I.M., Latkin V.V. Improving the design and technology of installation of friction bolts. *Gornyi zhurnal* [Mining Journal], 2016, no. 5, pp. 48-52. (In Russ.)
4. Zubkov A.A. et al. Providing a rationale for specifications of friction bolts. *Gornyi informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tehnichesky zhurnal)* [Mining Information and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)], 2019, no. 10, pp. 35-43. (In Russ.)
5. Zubkov A.A., Zubkov A.E. *Ankernaya krep* [Rock bolt]. Patent RU, no. 95029, 2009.
6. Zubkov A.A. et al. Assessing the influence of the design parameters of a friction bolt on its bearing capacity. *Kombinirovannaya geotekhnologiya: perekhod k novomu tekhnologicheskemu ukladu* [Combined Geotechnology: Transition to a New Technological Paradigm. Proceedings of the conference]. Magnitogorsk, 2019, p. 99. (In Russ.)
7. Zubkov A.A., Kutlubaev I.M. *Friktionnyi anker* [Friction bolt]. Patent RU, no. 201514, 2020.
8. Zubkov A.A., Volkov P.V., Kutlubaev I.M., Neugomonov S.S. Improving the design and technology of installing friction bolts. *Gornyi zhurnal* [Mining Journal], 2022, no. 1, pp. 92-96. (In Russ.)
9. LLC OKS-TRADE: A friction bolt of a new generation. *Gornaya promyshlennost* [Mining Industry], 2017, no. 6, p. 54. (In Russ.)

Поступила 08.06.2022; принята к публикации 10.07.2022; опубликована 26.09.2022
Submitted 08/06/2022; revised 10/07/2022; published 26/09/2022

Зубков Антон Анатольевич – кандидат технических наук, генеральный директор,
ООО «УралЭнергоРесурс», Магнитогорск, Россия.

Калмыков Вячеслав Николаевич – доктор технических наук, профессор,
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.

Кульсантов Равиль Вадимович – кандидат технических наук, доцент,
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.

Кутлубаев Ильдар Мухаметович – доктор технических наук, профессор,
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.
Email: ptmr74@mail.ru

Неугомонов Сергей Сергеевич – кандидат технических наук, технический директор,
ООО «УралЭнергоРесурс», Магнитогорск, Россия.

Туркин Иван Сергеевич – кандидат технических наук, заместитель генерального директора
по перспективному развитию, ООО «УралЭнергоРесурс», Магнитогорск, Россия.

Anton A. Zubkov – PhD (Eng.), General Director,
UralEnergoResurs LLC, Magnitogorsk, Russia.

Vyacheslav N. Kalmykov – DrSc (Eng.), Professor,
Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Ravil V. Kulsaitov – PhD (Eng.), Associate Professor,
Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Ildar M. Kutlubaev – DrSc (Eng.), Professor,
Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.
Email: ptmr74@mail.ru

Sergey S. Neugomonov – PhD (Eng.), Technical Director,
UralEnergoResurs LLC, Magnitogorsk, Russia.

Ivan S. Turkin – PhD (Eng.), Deputy General Director for Long-Term Development,
UralEnergoResurs LLC, Magnitogorsk, Russia.